

# 大跨度刚构桥悬臂梁段一次性浇筑施工技术

李 涛<sup>1</sup>, 张 邦<sup>2</sup>

(1. 浙江省衢州市公路工程监理有限公司, 浙江衢州 324002; 2. 湖南省路桥集团公司桥梁四公司, 湖南长沙 410001)

**摘 要:**详细介绍福建下白石大桥主桥悬臂梁段挂篮一次性浇筑施工技术, 包括挂篮悬浇施工工艺流程, 挂篮的设计、加工和安装、普通钢筋及预应力体系的安装定位以及箱梁混凝土的浇筑等。为国内大跨度、大高度连续刚构施工提供技术参考。

**关键词:**连续刚构桥; 悬臂梁; 一次性混凝土浇筑; 施工技术; 福建省

**中国分类号:** U445.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)01-0090-04

## 1 大桥基本情况

福建下白石大桥主桥上部结构为四跨预应力混凝土连续刚构, 跨径布置: 145 m + 2 × 260 m + 145 m, 全长 810.0 m, 桥面宽 24.50 m, 主梁为分离式双箱结构, 大桥分两幅独立修建, 在主墩处因结构受力需要用四道横隔板将两幅桥连接起来。每幅桥箱梁设计为单箱单室断面, 箱梁顶板宽度为 12.0 m, 底板宽度为 6.0 m, 箱梁顶面设 2% 向外侧的单向横坡。墩顶处箱梁高为 14.0 m (单幅箱梁中心处梁高); 各跨跨中心及现浇梁段梁高均为 4.2 m; 梁底下缘按 1.6 次抛物线变化。零号块梁长为 14.0 m, 每幅桥三个“T 构”的悬臂各分为 29 对梁段, 其梁段号及梁段长从根部至跨中各为: 1~8 号梁段为 8 × 3.0 m, 9~15 号梁段为 7 × 4.0 m, 16~29 号梁段为 14 × 5.0 m, 累计悬臂总长度为 123.25 m。箱梁顶板厚度为 25~40 cm, 箱梁底板根部厚为 140 cm, 跨中为 30 cm。腹板厚度在零号块梁段的隔板范围内为 70 cm。隔板外及 1~8 号梁段为 60 cm, 9~15 号梁段为 50 cm, 16~29 号梁段为 40 cm。悬浇梁段最大控制重量为 2 252 kN (9 号梁段)。主桥箱梁设置了三向预应力。纵向预应力采用 VSL 锚具体系, 两端同时张拉, 其钢束采用 25 × Φ15.24 和 27 × Φ15.24 型两种钢束, 并采用塑料波纹管, 真空辅助压浆的新技术和新工艺; 横向预应力钢束采用扁锚体系和一端单根张拉方式, 相应预应力锚具张拉端与锚固端交叉布置; 竖向预应力钢筋采用 1080 级 32D 精轧螺纹钢钢筋和在梁顶一端张拉方式, 并采用二次扳手复拉。三向预应力张拉均采用对延伸量

与张拉吨位进行双控施工。

## 2 挂篮悬浇施工的工艺流程图 (图 1)

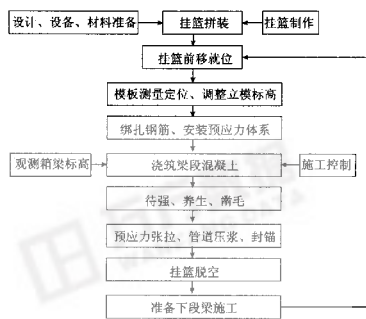


图 1 挂篮悬浇施工工艺流程

## 3 挂篮的设计、加工和安装

### 3.1 设计特点

主桥上部结构箱梁悬臂施工的梁段数量多, 悬臂施工时间长。根据箱梁的结构断面、梁长和梁重, 悬臂梁悬浇施工所用挂篮在设计上有如下特点: 结构简单, 受力明确, 设有走行装置, 使之移动方便, 外模板与底模可随挂篮主桁架一次前移到位, 内模板能整体滚动到位, 取消平衡重, 利用竖向预应力钢筋锚固轨道, 以后支座反扣轮沿轨道行走和吊带铺以精轧螺纹钢钢筋作前、后吊点和后支点的轻型滚动。该挂篮具有重量轻, 结构合理, 操作灵活, 抗风能力强等优点。

### 3.2 主要性能

(1) 适应最大梁段重 2 252 kN; (2) 适应梁段长

收稿日期: 2005-09-21

作者简介: 李涛 (1974-), 男, 湖南岳阳人, 工程师, 董事长兼总经理, 从事公路工程施工监理工作。

3~5 m; (3)适应梁段高 4.0~14.0 m; (4)适应梁段宽度:顶板 12.0 m,底板 6.0 m; (5)取消平衡重。

### 3.3 结构组成

主要由四大部分组成:

(1)主桁架(是主要承重结构,由两片纵梁组成)

(2)吊带、吊杆及锚固系统(包括轨道、主桁架的锚固和模板系统的前、后吊带和吊杆的锚固)

(3)行走系统(包括主桁架、外模板、内模板和底模板的行走)

(4)模板系统(包括外模板、内模板和底模板)

### 3.4 加工和安装

挂篮在加工车间严格按图纸的加工要求和精度进行散件制造,然后在车间现场试拼。经验收合格后,再把散件运到各墩位处组装。

挂篮的安装程序如下:

(1)在零号块梁段腹板位置的桥面上用砂浆抄平;

(2)安装下锚扁担梁和钢枕,再在其上安装轨道,注意空隙处用钢板塞紧,并用连接器接长竖向预应力钢筋并锁定轨道。注意严格控制内、外轨道宽度及平整顺直。

(3)安装挂篮前后支座;用塔吊将单片主桁架安装在支座上,并将两者焊接为整体,两片主桁架之间用横向连杆连为整体;同时用上、下锚扁担梁和Φ32的精轧螺纹钢将主桁架后锚点锚固。为确保挂篮主桁架后锚点锚固可靠,在各后锚杆前后安装一根安全锚杆。

(4)安装挂篮前、后悬吊系统的前吊横梁、扁担梁和支撑梁及吊杆;用卷扬机提吊底模板,用前后吊杆将其行走轨道锚固。

(5)安装外模板行走前后吊杆,外模板(包括行走梁)在驳船上整体安装好后,用卷扬机提升外模板,用前后吊杆将其行走轨道锚固。

(6)在箱梁底板钢筋和腹板钢筋绑扎完后,现场安装内模板(包括行走装置)。

(7)挂篮安装完后,根据最大施工荷载对挂篮进行试压,检验挂篮的承载能力、稳定性及安全可靠性能,以消除非弹性变形,并测试其弹性性能以便为施工控制计算提供准确数据。挂篮试压后,如符合设计要求,经监理工程师批准,即可投入使用。

(8)在挂篮安装就位后,可在任意时间内先对底篮和外侧模的平面位置、轴线偏位等进行测量调整,其后即可进行待浇梁段的钢筋安装,挂篮立模标

高在钢筋安装过程中同步进行测量和调整。对挂篮的主桁架的后锚点,模板系统的前后吊点,行走装置,结构尺寸、位置、标高等进行全面检查和签证。

## 4 箱梁普通钢筋及预应力体系的安装定位施工

### 4.1 普通钢筋安装

(1)箱梁所有纵向钢筋连接均采用搭接绑扎形式,搭接长度 60 cm,钢筋的扎丝要牢固,至少要在前、中、后三个位置绑扎,当搭接长度不够时钢筋须采用焊接;用于固定梁端头模板的钢筋要采用焊接方式连接,同时钩子筋要绑扎牢靠,不能出现浮筋。

(2)要严格控制混凝土保护层厚度,不能出现露筋。

### 4.2 预应力体系施工

#### 4.2.1 纵向预应力

(1)波纹管材料,采用 VSL 公司生产的 PT-1 PLUS 塑料波纹管。

(2)波纹管连接,采用 VSL 公司波纹管焊接机接长,也可采用卡箍直接联结,下弯束全部采用卡箍联结。

(3)波纹管的定位,首先通过测量放样,确保管道安装与设计位置相一致,要用定位钢筋将管道的四周卡住,并点焊牢靠,防止在混凝土浇筑过程中出现走位。在锚固钢束的管道端,锚垫板要按照设计图的位置、尺寸和角度定位好。波纹管插入锚座之喇叭口内,用粘胶带缠牢两者接头处,保持密封。锚座压浆孔及喇叭口内均须用海绵塞实,防止水泥浆的渗入。

(4)波纹管的保护,为防止波纹管被人踩踏变形,在其上铺设木板或竹夹板隔离;施工过程中防止电焊、割割、照明等对管道的损伤和破坏,如发现问题要及时处理。在浇筑前,平束采用 PVC 管作内衬,下弯束的管道采用充气气囊,以确保管道畅通。

#### 4.2.2 竖向预应力

(1)下端锚垫板、螺母要用钢筋或垫块支撑牢靠,防止精轧螺纹钢下坠;同时锚垫板与螺母之间要塞海绵,并用润滑脂密封,使之紧贴不进来。

(2)箱梁 1~6 号梁段的精轧螺纹钢采用连接器接长,先在钢筋的端头量尺和标记,保证上、下两根钢筋在连接器内均为 10 cm,并拧紧到位。连接器两头用胶布定位,并用铁丝缠紧,防止旋动。精轧螺纹钢接长后的较短一节均安在下端并需错位;连接器位置的变径喇叭管要尽量在上头多留一

些空隙,以满足精轧螺纹钢张拉时延伸变形需要,不致使连接器顶住孔壁而无法压浆。

(3)要严格控制精轧螺纹钢的位置和垂直度,以保证挂篮轨道和后锚点能准确锚固,挂篮能顺利前移就位。

#### 4.2.3 横向预应力

(1) 钢绞线必须外露挤压头 5~10 mm;

(2) 安装时挤压头与固定端锚垫板紧贴,螺旋钢筋定位要牢靠;

(3) 管道安装须平整顺直。

### 5 箱梁混凝土一次性浇筑施工

在梁段混凝土浇筑前,应对挂篮、模板、预应力管道、钢筋、预埋件、混凝土材料、配合比、机械设备和混凝土接缝处理情况进行全面检查。

该桥箱梁的高度大(1~15号段梁高为14.00~8.20 m),混凝土数量多、标号高(C60)。对14 m高梁的混凝土采用一次性浇筑,在国内属于前列,技术含量高,施工难度大。为便于控制混凝土的施工质量,我们从多方面采取措施,保证了混凝土一次性浇筑的施工质量。

#### 5.1 混凝土的输送

梁段混凝土采用由岸上拌和站搅拌,泵送到墩位处浇筑;由于泵送距离远(折算最大水平距离800~900 m)以及同幅桥相同编号梁段须同时浇筑,混凝土的输送非常困难,每个主墩的“T”构梁段混凝土的浇筑需3~4台混凝土输送泵(全桥共需8台)同时施工,其中两台用于接力和分料,这样就满足了混凝土的长距离输送要求。

#### 5.2 混凝土配合比试验

试验室按设计和施工要求对主桥箱梁混凝土进行试验配合比设计,并不断完善,使之成为最佳配合比,每次浇筑前,在拌和站要现场测定砂石料的含水量,精确计算出混凝土施工配比,使搅拌的混凝土达到和易性、流动性良好,坍落度损失小,满足混凝土的设计强度、泵送和振捣要求;同时为满足预应力张拉的要求、缩短施工周期、加快施工进度,对混凝土采用了早强措施,保证3 d强度达到48 MPa以上。

#### 5.3 箱梁混凝土的浇筑

混凝土的浇筑尽量选在一天中温度较低的时间内进行。由于悬臂梁段高度大,且腹板和顶板的钢筋和预应力管道密布,在浇筑梁段混凝土时采用了在内模板顶端和腹板上开仓的措施,并设置料斗、分料盒、串筒和溜槽等机具。

#### 5.3.1 箱梁混凝土的浇筑顺序

混凝土应按一定厚度、顺序、方向分层浇筑。混凝土浇筑采用后退法,先从悬臂梁前端往后浇筑,最后在已浇筑悬臂梁端处结合;且按每一段的全部高度连同桥面板一起,沿上部结构整个横断面以斜坡层向前推进,斜坡倾斜角为 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。混凝土分层浇筑顺序为底板浇筑时应先浇两边腹板位置,后底板中部位置,腹板混凝土应尽量对称浇筑,且严格控制每梁段上下腹板浇筑高差不得大于2 m,以保证挂篮平衡受力,并在腹板混凝土浇筑到顶板腋下一定高度后再浇筑腹板剩余部分混凝土及顶板、翼板混凝土,顶板混凝土的浇筑应从中间对称地往两侧进行,翼板混凝土的浇筑则从两侧往梁中间进行,且要一次浇筑到位,最后在腹板上口位置接合,以防混凝土在腹板位置发生裂纹。自高处向模板内倾卸混凝土时,为防止混凝土离析,混凝土的自由卸落高度控制在2 m左右,出料口混凝土堆积高度不宜超过1 m。

#### 5.3.2 箱梁混凝土的振捣

箱梁混凝土的振捣采用插入式振动器,配合以附着式振动器及平板式振动器。对顶板及翼板以插入式振动器为主,用平板振动器;对腹板以插入式为主,附着式为辅;对底板也以插入式为主。振捣时由专人负责,严格操作,保证混凝土的振捣质量,防止漏振和泌水。使用插入式振动器时,每次浇筑的厚度不能超过30 cm,振动器的移动间距不应超过振动器作用半径的1.5倍,并与侧模保持5~10 cm的距离,插入深度为5~10 cm。对第一振捣部位的振动时间不能过长或过短,振到该部位的混凝土停止下沉,不再冒出气泡,表面平坦,泛浮浆为止,拔出振动器后不再留孔洞。否则可能产生混凝土离析或振捣不密实。

要特别注意对箱梁腹板与底板连接处的倒角、预应力筋锚固区以及其它钢筋密集部位的振捣。浇筑时,应避免振动器碰撞预应力管道、预埋件等。并应经常检查模板、管道、锚固端垫板及支座预埋件等,以保证其部位和尺寸符合设计要求。

#### 5.3.3 箱梁梁段混凝土浇筑时应注意的事项

(1) 应尽量对称均衡地进行浇筑,控制悬臂两端混凝土浇筑进度,浇筑底板混凝土时两端箱梁差值不超过一个底板高度,浇筑腹板混凝土时两端混凝土高差不得超过2.0 m。

(2) 严格控制箱梁断面尺寸,控制悬臂荷载,防止超重。为控制腹板混凝土厚度,在安装腹板模板

# 上海西藏路电力隧道工程施工技术

周松

(上海市市政第二工程有限公司, 上海 200065)

**摘要:**介绍了上海西藏路电力隧道工程概况,重点论述了工程顶管施工的三维复合小曲率半径、轴线变化较大,以及穿越复杂地下管线、地铁、地表变形要求高等特点和难点。为大口径三维曲线顶管在大城市繁华地段施工和环境保护提供了理论依据和实例。

**关键词:**电力隧道;顶管推进;三维曲线;信息化施工;上海市

**中图分类号:**U445 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)01-0093-03

## 1 工程概况

### 1.1 工程规模及总体布置

西藏南路(新疆路—复兴中路)电力隧道工程南起西藏路复兴中路,沿西藏南路向北,穿越苏州河,延伸至西藏中路新疆路,全长约3.033 km,共设各类工作井7座。

隧道全线共15段平曲线,9段竖曲线。最小平曲线半径为300 m,最大平曲线半径为600 m,最大纵坡为33%,最小纵坡为3%,多个区间呈双S型曲线。整个隧道的轴线呈复杂的三维空间立体曲线,

收稿日期:2005-08-29

作者简介:周松(1968-),男,江西水新人,高级工程师,总经理,从事地下工程技术管理工作。

时,使腹板厚度较设计值小5 mm,浇筑时模板的对拉螺杆会伸长,浇筑后腹板正好达到设计厚度。在浇筑箱梁底板和顶板混凝土时,预埋测量控制标记,采用长直尺控制平整度,使标高达到设计要求。

(3) 为避免在浇筑箱梁混凝土时挂篮下挠引起新旧混凝土间产生裂缝,应从梁段前端向后分层浇筑。

(4) 浇筑底板、顶板和翼板混凝土时,混凝土坍落度宜控制为18 cm,浇筑腹板混凝土时,坍落度宜控制在20 cm。

(5) 腹板混凝土入仓前,14 m 振动棒要先达到底部,再根据混凝土的浇筑高度慢慢提升,提升时不要脱离混凝土表面,且要在内模中部开照明观察孔和在堵头模板上开观察孔,观察孔每2 m 设置一个,以便监控混凝土的振捣情况,及时指挥振动棒的提升和振捣。

(6) 浇筑箱梁腹板与底板相连倒角处的混凝土

曲线总长约1225.1 m,占全线总长约40.4%。

隧道施工工艺采用顶管工艺,采用 $\Phi 2700$  mm F型钢筋混凝土管。隧道最大埋深21.5 m,最小埋深为10 m,高度起伏较大。

### 1.2 工程地质状况

该拟建场地位于长江三角洲入海口东南前缘,属三角洲冲积平原,地貌形态单一,属于上海地区四大地貌单元中的滨海平原类型。浅部土层中的地下水属于潜水类型,其水位动态变化主要受控于大气降水和地面蒸发,潜水位年平均离地面下0.5~0.7 m。承压水分布于第⑦、⑧层中,其水头约为4.0~2.0 m。该建筑场地属于IV类场地,抗震设防烈度为6度,经勘探表明在深度0~20.00 m范围内无独立成层饱和砂质粉土或粉砂分布,故在设防地震

时,要在倒角模板上开口,采用插入式振动器使振捣密实,同时准备压模,防止翻浆。

(7) 在下弯末端存在锚垫板和螺旋钢筋,浇筑该处腹板混凝土时要在锚下的内模开口,采用插入式振动器振捣,保证锚下混凝土密实。

(8) 在浇筑混凝土过程中,要派专人对挂篮结构和受力情况、预应力管道、锚固端垫板及预埋件等进行检查,以保证它们的位置及尺寸符合设计要求。

## 6 结束语

福建下白石大桥的主桥上部结构的挂篮悬浇施工从2002年7月10日开始,至2003年3月16日全桥合龙,历时10个月。该桥的一次性浇注施工方案,对国内大跨度、大高度连续刚构施工提供了一定的借鉴。后支点轻型挂篮的应用对提高该桥的工效起了关键作用。也为我国连续刚构桥施工积累了经验,对我国连续刚构桥的发展将产生积极的作用。